



Instituto
Nacional
de Tecnología
Industrial

INTI

Suma valor
a un país de ideas

Copia Controlada N°2
Válida sólo desde servidor Calidad

Procedimiento específico:
PEMA03A

**TRANSFERENCIA DE
ACELERÓMETRO PATRÓN
DE REFERENCIA A
ACELERÓMETRO PATRÓN
DE TRABAJO SEGÚN
NORMA ISO 16063-21**

Revisión: Septiembre 2020

Este documento se ha elaborado con recursos del Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

PEMA03A Índice: Septiembre 2020

NOMBRE DEL CAPÍTULO	REVISIÓN
Página titular	Septiembre 2020
Lista de enmiendas	Septiembre 2020
Índice	Septiembre 2020
Transferencia de acelerómetro patrón de referencia a acelerómetro patrón de trabajo según Norma ISO 16063-21	Septiembre 2020
Apéndice 1	Septiembre 2020
Apéndice 2	Septiembre 2020

PREPARADO POR

FIRMA Y SELLO

TEC. RAIMIRO BENAVENTA
UTACUSTICA
INTI - FISICA Y METROLOGIA

PREPARADO POR

FIRMA Y SELLO

ALEXIS ZAPATA
Laboratorio de Acústica y Vibraciones
METROLOGIA FISICA

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO

LIC. FEDERICO SERRANO
Laboratorio de Acústica y Vibraciones
METROLOGIA FISICA

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO

Ing. Gustavo Bengio
Resp. Calidad Met. Fisica

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO

Ing. ALEJANDRO SAVARIN
JEFE DEPTO. MECANICA Y AUSTICA
METROLOGIA FISICA

APROBADO POR

FIRMA Y SELLO

Ing. JUAN FORASTIERI
DIRECTOR TECNICO
METROLOGIA FISICA

PEMA03A: Septiembre 2020

1. Objetivo

Establecer los métodos de calibración de un acelerómetro patrón de trabajo con un acelerómetro patrón de referencia, entre 10 Hz y 10 kHz, según los lineamientos de la norma ISO 16063-21:2003.

2. Alcance

Acelerómetros empleados como patrones secundarios, en el rango de 10 Hz a 10 kHz para la frecuencia y de 1 m/s² a 100 m/s² para la aceleración.

3. Definiciones y abreviaturas

Se encuentran en las normas y manuales de referencia.

4. Referencias

- Cartas de calibración del acelerómetro patrón de referencia y del acelerómetro patrón de trabajo a calibrar (sensor bajo calibración) y certificados periódicos de calibración de los acelerómetros patrón.
- Norma ISO 16063-21:2003.

5. Responsabilidades

Jefe de Departamento de Mecánica y Acústica

Supervisa la realización de estos trabajos, verifica que se cumplan los procedimientos y revisa los resultados.

Profesionales y Técnicos del Laboratorio de Acústica y Vibraciones

Realiza las calibraciones aplicando el presente procedimiento de calibración, procesando los correspondientes datos y emitiendo el certificado.

6. Instrucciones

Las instrucciones de trabajo se efectúan de acuerdo con el siguiente procedimiento, correspondiente a las referencias del punto 4: Se eligen valores de referencia la frecuencia y la aceleración en m/s² de la calibración del patrón de referencia.

6.1. Identificación y almacenamiento

El acelerómetro patrón de trabajo que se calibra se identifica de acuerdo con las instrucciones del Manual de Calidad de Metrología Física y se guardan en el Laboratorio de Interferometría, sala N° 62.

6.2. Instrumentos que se utilizan

- Acelerómetro patrón de referencia marca Brüel & Kjaer tipo 8305.
- Acelerómetro patrón de trabajo marca Brüel & Kjaer tipo 8305.
- Excitador de Vibraciones marca Brüel & Kjaer tipo 4808.
- Generador de onda sinusoidal marca Agilent, modelo 33210A.
- Amplificador de Potencia marca Brüel & Kjaer tipo 2707.
- Amplificadores de Carga acondicionadores de Sensibilidad, marca Brüel & Kjaer, tipo 2650 y tipo 2635.

PEMA03A: Septiembre 2020

- Multímetro Hewlett-Packard modelo 34401A (Canal A)
- Multímetro Hewlett-Packard modelo 34401A (Canal B)
- Distorsímetro Kronhite Modelo 6900B.
- Osciloscopio marca Tektronic, modelo TDS1001B.
- Higrotermómetro TFA Acu 1.
- Soporte LV0200 con montaje LV02BB y adaptadores LV02B1, LV02B2 y LV02B3.

6.3. Instrucciones para la calibración de un acelerómetro patrón de trabajo con un acelerómetro patrón de referencia.

6.3.1. El excitador de vibraciones B&K 4808 se ubica sobre un bloque sísmico. Se coloca el acelerómetro patrón de trabajo B&K 8305 atornillado debajo del montaje "LV02BB" que a su vez está fijado (1,5 N·m) a través del soporte LV0200 a la superficie del excitador de vibraciones B&K 4808, en dirección vertical (Figura 1). Se mide el par de ajuste del acelerómetro mediante un torquímetro (para este caso 2 N·m).

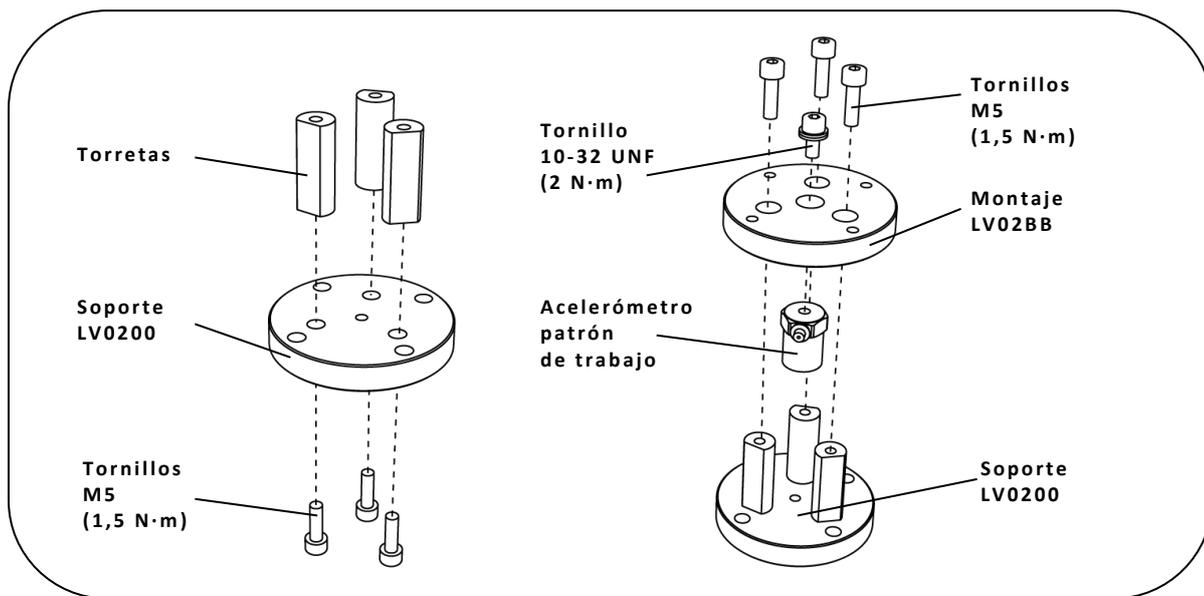


Figura 1. Montaje de acelerómetro patrón de trabajo (imagen representativa)

6.3.2. Sobre el montaje "LV02BB" se atornilla (1,5 N·m) a su vez la placa adaptadora "LV02B1" donde se fija el acelerómetro patrón de referencia B&K 8305 mediante un tornillo o adaptador adecuado a la rosca (Figura 2). Se mide el par de ajuste del acelerómetro mediante un torquímetro (para este caso 2 N·m).

NOTA: La placa adaptadora LV02B1 corresponde para caracterizar el sistema a la calibración de acelerómetros de hasta 100 gramos de peso. Para otros casos y según corresponda se usará la placa adaptadora LV02B2 o la placa adaptadora LV02B3.

PEMA03A: Septiembre 2020

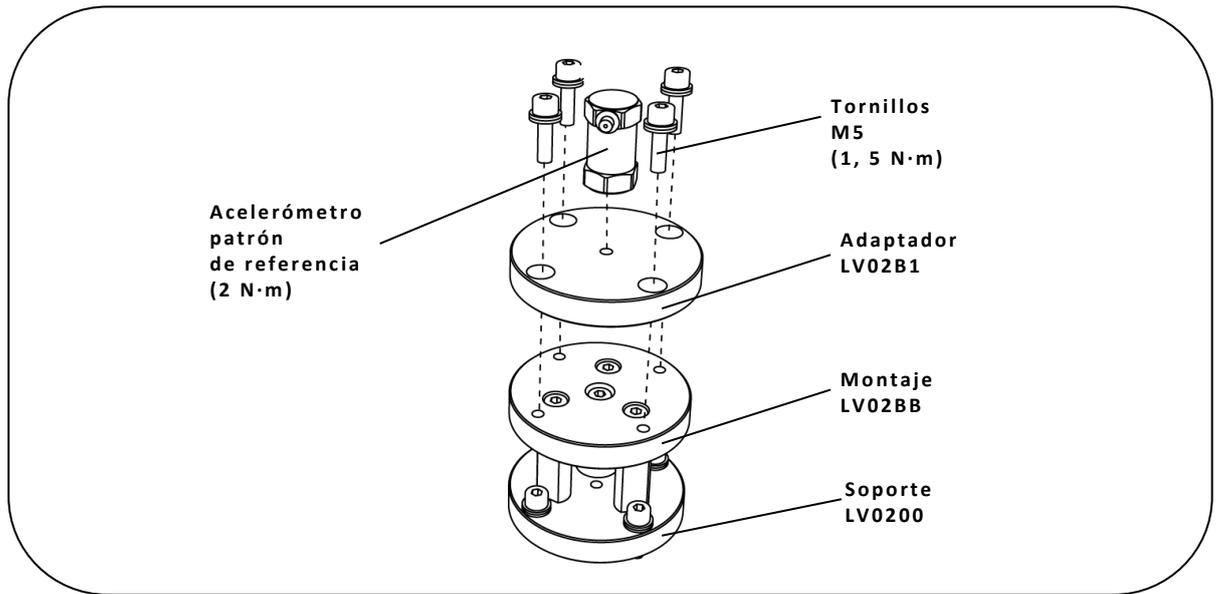


Figura 2. Montaje de acelerómetro patrón de referencia (imagen representativa)

6.3.3. Acomodar los cables de modo tal que el cable desde el conector parta de una línea recta a una curva suave hacia abajo, en dirección a la placa base LV0200. Fijar los cables con masilla. (Figura 3)

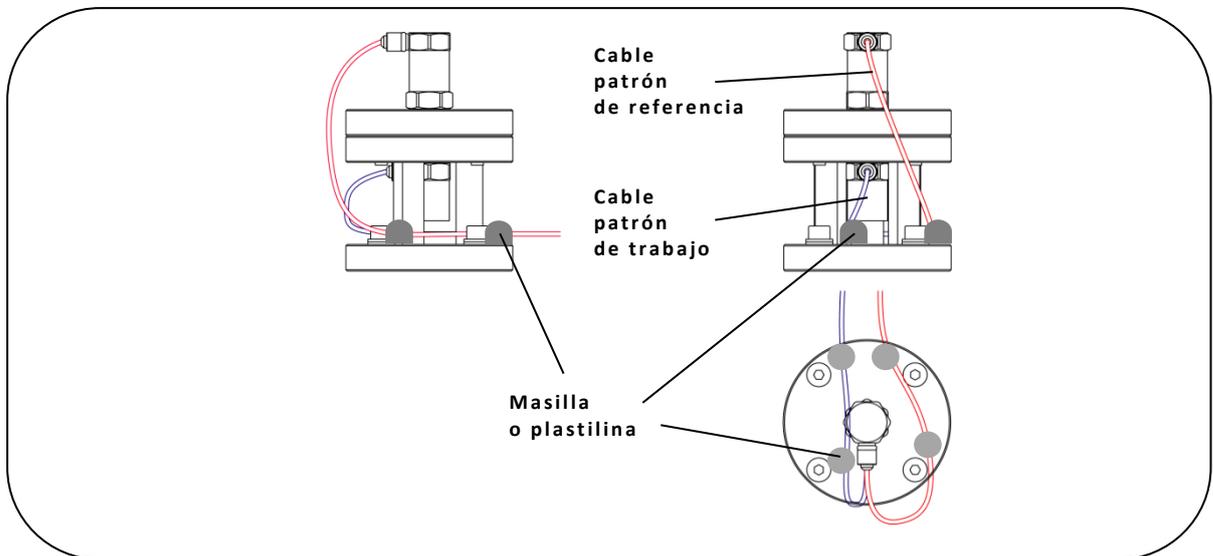


Figura 3. Conexión de cables (imagen representativa)

6.3.4. Según el diagrama de la Figura 4, conectar mediante un cable BNC-BNC la salida frontal Output del generador de funciones arbitrarias Agilent modelo 33210A al conector trasero Signal Input AC del amplificador de potencia Brüel & Kjaer modelo 2707. Este último se conecta a su vez a través del conector posterior Amplifier Output al conector Input del excitador de vibraciones Brüel & Kjaer modelo 4808.

PEMA03A: Septiembre 2020

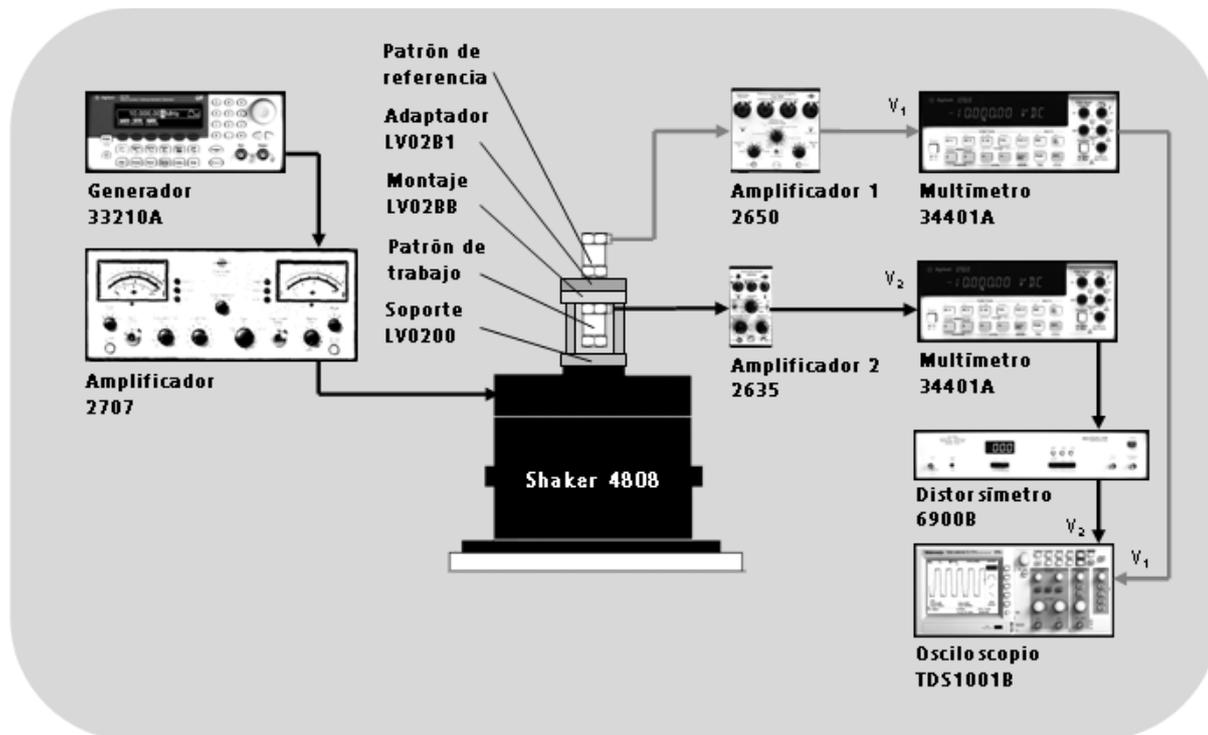


Figura 4. Diagrama en bloque de las conexiones (imagen representativa)

6.3.5. Conectar el cable microdot de salida de cada acelerómetro a la entrada microdot de sus respectivos amplificadores de carga.

6.3.6. La salida de tensión del conjunto “acelerómetro patrón de referencia-amplificador de carga 1” (V_1), se conecta a la entrada frontal del multímetro Hewlett-Packard modelo 34401A (Canal A) y la salida de tensión del conjunto “acelerómetro patrón de trabajo-amplificador de carga 2” (V_2) a la entrada frontal del multímetro Hewlett-Packard modelo 34401A. (Canal B)

6.3.7. Al mismo tiempo, se conectan ambas salidas eléctricas en paralelo al osciloscopio Tektronix, modelo TDS1001B. Conectando en el canal 1 del panel frontal la salida V_1 y en el canal 2 del panel frontal la salida V_2 . Ambas salidas se conectan en forma alternada durante la medición al Distorsímetro Kronhite Modelo 6900B debido a que posee una única entrada.

6.3.8. Antes de medir se deben configurar los setup de los multímetros HP modelo 34401A y del generador de funciones arbitrarias Agilent modelo 33210A. Para el caso de los multímetros se selecciona en el menú: frecuencia inferior de corte en 3 Hz, lectura slow de 6 dígitos y para el caso del generador se selecciona en utilidades: tipo de salida “High Z”.

6.3.9. En los amplificadores de carga utilizados a la salida de los acelerómetros, el patrón de trabajo que se calibra y el patrón de referencia, se seleccionan los controles en las siguientes posiciones:

Para amplificadores de carga B&K modelo 2635 utilizados con el patrón de trabajo a calibrar, los controles se utilizarán en las posiciones siguientes: Transducer sensitivity en 1,00; mVolt/Unit Out en 100; Lower Frequency Limit en 0,2 Hz y Upper Frequency Limit en >100 kHz.

Para amplificadores de carga B&K modelo 2650 utilizados con un patrón de referencia, los controles se utilizarán en las posiciones siguientes: Transducer sensitivity en 1,00; Volt/Unit Out en 0,1(1-11 pCmV/Unit Out); Lower Frequency Limit en 0,3 Hz y Upper Frequency Limit en Lin. (misma configuración usada en el procedimiento PEMA12A)

PEMA03A: Septiembre 2020

6.3.10. Antes de encender el amplificador de potencia Brüel & Kjaer modelo 2707, verificar que los controles en el frente estén en las posiciones siguientes:

Power: en Off

Output Impedance: LOW

Current Limit: 14 A rms

Head Constant (NO DEBE TOCARSE NUNCA. Ha sido fijada al conectar el Excitador de Vibraciones Brüel & Kjaer 4808 en un valor de 2,8 inches/V/s).

Displacement Limit: 0,8 mm

Direct Current Output: Se ajusta por peso según si se hace uso o no de un adaptador, para que el elemento móvil esté centrado verticalmente.

Amplifier Range: Debe estar en Reset

Range A rms: 30

Range V rms: 10

6.3.11. Encender el amplificador de potencia B&K modelo 2707 llevando la perilla Power a ON y luego a Load On. Si quedaran luces prendidas, se logra apagarlas girando la perilla Amplifier Gain de la posición 0 a RESET.

6.3.12. Llevar en el amplificador de potencia el Amplifier Gain a 9, valor de amplificación adecuado para este procedimiento

6.3.13. Se mide la temperatura ambiente en cercanía del acelerómetro.

6.3.14. Se seleccionan las frecuencias de la calibración, en bandas de tercio de octava, del acelerómetro patrón de referencia y que siempre deberán incluir la frecuencia de referencia del mismo.

6.3.15. Dichas frecuencias se ingresan en el generador de funciones arbitrarias Agilent modelo 33210A seleccionando la opción "Sine" en el teclado frontal de selección de función, luego en pantalla la opción "Freq" con las teclas de menú y por último mediante el teclado numérico se ingresan los distintos valores de frecuencia.

6.3.16. Para cada una de esas frecuencias, se selecciona en pantalla la opción "Amp" del menú y luego mediante el teclado numérico se ingresa un valor de tensión en rms. Mediante el botón "Output" se habilita la salida del generador al amplificador de potencia B&K modelo 2707 y luego con la "Perilla" del panel frontal se generan niveles de amplitud en volts rms equivalentes a una señal de aceleración sinusoidal RMS en m/s^2 , empleados en la calibración del acelerómetro patrón de referencia (PEMA12A). Verificando, antes y después de la medición, el nivel empleado en cada punto de frecuencia y chequeando que no superen el 5% de distorsión.

6.3.17. Se consignan los resultados obtenidos en una Tabla (que figura en el Apéndice 1 de este procedimiento). En dicha Tabla, figuran las frecuencias de la señal generadas por el generador de funciones arbitrarias Agilent modelo 33210A; la Aceleración Nominal usada en la calibración por interferometría láser (PEMA12A); V_1 Nominal que es la tensión nominal a buscar a la salida del conjunto acelerómetro patrón de referencia-amplificador de carga 1, equivalente a la Aceleración Nominal; V_1 la tensión eléctrica a la salida del conjunto acelerómetro patrón de referencia-amplificador de carga 1; V_2 la tensión eléctrica medida a la salida del conjunto acelerómetro patrón de trabajo-amplificador de carga 2.

Las mediciones pueden realizarse también mediante el sistema automatizado, donde todo el equipamiento involucrado será seteado automáticamente según lo detallado desde el punto 6.3.8, utilizando el soft de medición "calibracionPEMA03A_v1.0.vi".

Los resultados obtenidos, de forma manual o automatizada, también pueden consignarse de manera digital utilizando la planilla del archivo Excel "calculosPEMA03A_v1.0.xls".

PEMA03A: Septiembre 2020

La sensibilidad del conjunto acelerómetro patrón de trabajo-amplificador de carga 2 (S_2), se calcula para cada frecuencia de medición mediante la siguiente fórmula:

$$S_2 = \frac{V_2}{V_1} \times (S_a \times S_p) \text{ [V/(m/s}^2\text{)]}$$

Donde:

V_1 la tensión eléctrica a la salida del conjunto acelerómetro patrón de referencia-amplificador de carga 1,
 V_2 la tensión eléctrica a la salida del conjunto acelerómetro patrón de trabajo-amplificador de carga 2,
 S_a la sensibilidad del acelerómetro patrón de referencia obtenida por interferometría láser (PEMA12A),
 S_p la sensibilidad del amplificador de carga 1 obtenida por procedimiento específico PEMA15A,
 S_2 la sensibilidad del conjunto acelerómetro patrón de trabajo -amplificador de carga 2.

6.3.18. Aplicar punto 6.3.4.20 del PEMA12A para hallar la sensibilidad individual del acelerómetro patrón de trabajo.

6.4. Condiciones ambientales

Temperatura: (23 ± 5) °C

Humedad: < 75%

Estas condiciones ambientales, establecidas en la norma ISO 16063-21:2003, se registran en la Planilla de Registros ambientales del Apéndice 1.

6.5. Incertidumbre en las mediciones

De acuerdo con el Apéndice 2 de este procedimiento, la incertidumbre expandida en la determinación de la sensibilidad del acelerómetro que se calibra (S_c) es de:

10 Hz a 50 Hz: 1,4 %

>50 Hz a 200 Hz: 0,7 %

>200 Hz a 1 kHz: 0,8 %

>1 kHz a 5 kHz: 1,5 %

>5 kHz a 10 kHz: 1,6 %

Esta incertidumbre se calculó multiplicando la incertidumbre estándar combinada por un factor de cubrimiento $k=2$, correspondiente a un nivel aproximado de confianza del 95 % bajo distribución normal (Ver cálculo en el Apéndice 2).

7. Registros de la Calidad

Se conservan registros manuscritos de las observaciones originales, copia de los certificados emitidos y demás documentación relacionada, de acuerdo con el Manual de la Calidad de Metrología Física.

8. Precauciones

No aplicable.

9. Apéndices y anexos

APÉNDICE	TÍTULO
1	Planilla de resultados
2	Cálculo de incertidumbres

PEMA03A Apéndice 2: Septiembre 2020

Planilla de Cálculo de incertidumbres

PEMA03A: Transferencia de acelerómetro patrón de referencia a acelerómetro patrón de trabajo según Norma ISO 15063-21.

Frecuencia		10 Hz	a	50 Hz						
Fuente de Incertidumbre Tipo B	Valor	Intervalo	$c^{(1)}$	Distribución ⁽²⁾	Factor	$n^{(3)}$	u_i	Contribución %	$W-S$	$(u_i \cdot C_i)^2$
Medición Voltaje en Patrón (precisión multímetro)		5,12E-02 mV	-6,78E-03 [-pC/ mV(m/s ²)]	R	1,7	12	2,95E-02	5,2%	6,35E-08	4,02E-08
Medición Voltaje en Patrón (resolución multímetro)		5,00E-05 mV	-6,78E-03 [-pC/ mV(m/s ²)]	R	1,7	10000	2,89E-05	0,0%	6,94E-23	3,83E-14
Medición Voltaje en UUT (precisión multímetro)		5,09E-02 mV	6,98E-03 pC/ mV(m/s ²)	R	1,7	12	2,94E-02	5,5%	6,19E-08	4,20E-08
Medición Voltaje en UUT (resolución multímetro)		5,00E-05 mV	6,98E-03 pC/ mV(m/s ²)	R	1,7	10000	2,89E-05	0,0%	6,94E-23	4,06E-14
Calibración amplificador de carga del Patrón		1,56E-01 mV/pC	1,28E-03 [-pC/ mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	7,80E-02	1,3%	3,70E-09	1,00E-08
Calibración amplificador de carga del UUT		1,55E-01 mV/pC	-1,29E-03 [-pC/ mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	7,77E-02	1,3%	3,65E-09	1,00E-08
Calibración acelerómetro patrón		1,55E-03 pC/(m/s ²)	9,75E-01	N	2,0	10000	7,77E-04	74,9%	3,65E-17	5,74E-07
Drift del patrón (a cinco años, 0,05%/año)		3,25E-04 pC/(m/s ²)	9,75E-01	N	2,0	10000	1,62E-04	3,3%	6,93E-20	2,50E-08
Influencia torque (base strain)	0,003	3,00E-06 pC/(m/s ²)	1,00E+00	R	1,7	10000	1,73E-06	0,0%	9,00E-28	3,00E-12
Influencia de la temperatura (patrón)		5,18E-05 pC/(m/s ²)	1,00E+00	N	2,0	10000	2,59E-05	0,1%	4,50E-23	6,71E-10
Influencia de la temperatura (UUT)		6,31E-05 pC/(m/s ²)	1,00E+00	N	2,0	10000	3,16E-05	0,1%	9,93E-23	9,96E-10
Movimiento Transversal		7,02E-02 mV	6,98E-03 pC/ mV(m/s ²)	N	2,0	10000	3,51E-02	7,8%	1,52E-10	6,00E-08
Estimación de la incertidumbre tipo B, k=1	u_c			N (1σ)		4,38E-06				8,73E-04
Fuente de Incertidumbre tipo A			$c^{(1)}$			$n^{(3)}$	u_i	Contribución %	$W-S$	$(u_i \cdot C_i)^2$
Repetibilidad Voltaje en Patrón		mV	-6,78E-03 [-pC/ mV(m/s ²)]			1,20E+01	8,21E-03	0,4%	3,79E-10	3,10E-09
Repetibilidad Voltaje en UUT		mV	6,98E-03 pC/ mV(m/s ²)			1,20E+01	3,97E-03	0,1%	2,08E-11	7,68E-10
Estimación de la incertidumbre tipo A, k=1								100,0%		6,22E-05
Contribución %										
Sumatoria d^2										7,67E-07
Incertidumbre combinada										8,76E-04
Incertidumbre expandida				Distribución ⁽²⁾	Factor					
				k	2,0					
				k	2,0					
Incertidumbre expandida, k=2										1,75E-03
Incertidumbre final	[pC/(m/s ²)]									1,75E-03
	[%]									1,39

(1) Coeficientes de sensibilidad
(2) N: normal; R: rectangular
(3) Grados de libertad

PEMA03A Apéndice 2: Septiembre 2020

Planilla de Cálculo de incertidumbres

PEMA03A: Transferencia de acelerómetro patrón de referencia a acelerómetro patrón de trabajo según Norma ISO 16069-2:1

Frecuencia		>50 Hz		a		200 Hz					
Fuente de incertidumbre	Tipo B	Valor	Intervalo	$c_i^{(1)}$	Distribución ⁽²⁾	Factor	$n_i^{(3)}$	u_i	Contribución %	W-S	$(u_i \cdot C_i)^2$
Medición Voltaje en Patrón (precisión multímetro)		4,11E-01 mV		-6,80E-04 [-pC/mV(m/s ²)]	R	1,7	12	2,37E-01	12,4%	2,64E-04	2,61E-08
Medición Voltaje en Patrón (resolución multímetro)		5,00E-07 mV		-6,80E-04 [-pC/mV(m/s ²)]	R	1,7	10000	2,89E-07	0,0%	6,94E-31	3,85E-20
Medición Voltaje en UUT (precisión multímetro)		4,07E-01 mV		7,06E-04 pC/mV(m/s ²)	R	1,7	12	2,35E-01	13,1%	2,54E-04	2,75E-08
Medición Voltaje en UUT (resolución multímetro)		5,00E-07 mV		7,06E-04 pC/mV(m/s ²)	R	1,7	10000	2,89E-07	0,0%	6,94E-31	4,15E-20
Calibración amplificador de carga del Patrón		1,57E-01 mV/pC		1,27E-03 [-pC/mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	7,85E-02	4,7%	3,79E-09	9,95E-09
Calibración amplificador de carga del UUT		1,56E-01 mV/pC		-1,28E-03 [-pC/mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	7,79E-02	4,7%	3,68E-09	9,97E-09
Calibración acelerómetro patrón		6,48E-04 pC/(m/s ²)		9,72E-01	N	2,0	10000	3,24E-04	47,2%	1,10E-18	9,91E-08
Drift del patrón (a cinco años, 0,05%/año)		6,49E-05 pC/(m/s ²)		9,72E-01	N	2,0	10000	3,25E-05	0,5%	1,11E-22	9,95E-10
Influencia torque (base strain)		0,003		3,00E-06 pC/(m/s ²)	R	1,7	10000	1,73E-06	0,0%	9,00E-28	3,00E-12
Influencia de la temperatura (patrón)				5,18E-05 pC/(m/s ²)	N	2,0	10000	2,59E-05	0,3%	4,50E-23	6,71E-10
Influencia de la temperatura (UUT)				6,30E-05 pC/(m/s ²)	N	2,0	10000	3,15E-05	0,5%	9,82E-23	9,91E-10
Movimiento Transversal				5,28E-01 mV	N	2,0	10000	2,64E-01	16,5%	4,84E-07	3,46E-08
Estimación de la incertidumbre tipo B, $k = 1$		u_c			N (1 σ)		8,49E-11				4,58E-04
Fuente de incertidumbre tipo A				$c_i^{(1)}$			$n_i^{(3)}$	u_i	Contribución %	W-S	$(u_i \cdot C_i)^2$
Repetibilidad Voltaje en Patrón		mV		-6,80E-04 [-pC/mV(m/s ²)]			1,20E-01	1,57E-02	0,1%	5,10E-09	1,14E-10
Repetibilidad Voltaje en UUT		mV		7,06E-04 pC/mV(m/s ²)			1,20E-01	1,45E-02	0,0%	3,65E-09	1,04E-10
Estimación de la incertidumbre tipo A, $k = 1$									100,0%		1,48E-05
Contribución %											
Sumatoria d ²											2,10E-07
Incertidumbre combinada											4,58E-04
Incertidumbre expandida											
			Tipo A, N(95%)								
			Tipo B, N(95%)								
Incertidumbre expandida, $k=2$											9,17E-04
Incertidumbre final		[pC/(m/s ²)]									9,17E-04
		[%]									0,73

(1) Coeficientes de sensibilidad

(2) N: normal; R: rectangular

(3) Grados de libertad

PEMA03A Apéndice 2: Septiembre 2020

Planilla de Cálculo de incertidumbres

PEMA03A: Transferencia de acelerómetro patrón de referencia a acelerómetro patrón de trabajo según Norma ISO 16063-21.

Frecuencia		a		1 kHz		>200 Hz				
Fuente de incertidumbre Tipo B	Valor	Intervalo	$c^{(1)}$	Distribución ⁽²⁾	Factor	$n_i^{(3)}$	u_i	Contribución %	W-S	$(u_i c_i)^2$
Medición Voltaje en Patrón (precisión multímetro)		4,10E-01 mV	-6,84E-04 [-pC/ mV(m/s ²)]	R	1,7	12	2,37E-01	10,6%	2,63E-04	2,63E-08
Medición Voltaje en Patrón (resolución multímetro)		5,00E-07 mV	-6,84E-04 [-pC/ mV(m/s ²)]	R	1,7	10000	2,89E-07	0,0%	6,94E-31	3,90E-20
Medición Voltaje en UUT (precisión multímetro)		4,06E-01 mV	7,14E-04 pC/ mV(m/s ²)	R	1,7	12	2,34E-01	11,2%	2,51E-04	2,80E-08
Medición Voltaje en UUT (resolución multímetro)		5,00E-07 mV	7,14E-04 pC/ mV(m/s ²)	R	1,7	10000	2,89E-07	0,0%	6,94E-31	4,24E-20
Calibración amplificador de carga del Patrón		1,57E-01 mV/pC	1,27E-03 [-pC/ mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	7,87E-02	4,0%	3,84E-09	9,95E-09
Calibración amplificador de carga del UUT		1,56E-01 mV/pC	-1,28E-03 [-pC/ mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	7,79E-02	4,0%	3,68E-09	9,95E-09
Calibración acelerómetro patrón		7,79E-04 pC/(m/s ²)	9,69E-01	N	2,0	10000	3,90E-04	57,3%	2,31E-18	1,43E-07
Drift del patrón (a cinco años, 0,05%/año)		6,49E-05 pC/(m/s ²)	9,69E-01	N	2,0	10000	3,25E-05	0,4%	1,11E-22	9,90E-10
Influencia torque (base strain)	0,003	3,00E-06 pC/(m/s ²)	1,00E+00	R	1,7	10000	1,73E-06	0,0%	9,00E-28	3,00E-12
Influencia de la temperatura (patron)		5,20E-05 pC/(m/s ²)	1,00E+00	N	2,0	10000	2,60E-05	0,3%	4,56E-23	6,75E-10
Influencia de la temperatura (UUT)		6,30E-05 pC/(m/s ²)	1,00E+00	N	2,0	10000	3,15E-05	0,4%	9,83E-23	9,91E-10
Movimiento Transversal		4,42E-01 mV	7,14E-04 pC/ mV(m/s ²)	N	2,0	10000	2,21E-01	10,0%	2,39E-07	2,49E-08
Estimación de la incertidumbre tipo B, k=1	u_c			N (1σ)			1,16E-10			4,94E-04
Fuente de incertidumbre tipo A			$c^{(1)}$			$n_i^{(3)}$	u_i	Contribución %	W-S	$(u_i c_i)^2$
Repetibilidad Voltaje en Patrón		mV	-6,84E-04 [-pC/ mV(m/s ²)]			1,20E+01	5,69E-02	0,6%	8,71E-07	1,51E-09
Repetibilidad Voltaje en UUT		mV	7,14E-04 pC/ mV(m/s ²)			1,20E+01	7,88E-02	1,3%	3,21E-06	3,16E-09
Estimación de la incertidumbre tipo A, k=1								100,0%		6,84E-05
Contribución %										
Sumatoria c_i^2										2,49E-07
Incertidumbre combinada										4,95E-04
Incertidumbre expandida				Distribución ⁽²⁾	Factor					
				k	2,0					
				Tipo A, N(95%)						
				Tipo B, N(95%)	2,0					
Incertidumbre expandida, k=2										9,98E-04
Incertidumbre final										9,98E-04
										0,79

(1) Coeficientes de sensibilidad
(2) N: normal; Rectangular
(3) Grados de libertad

PEMA03A Apéndice 2: Septiembre 2020

Planilla de Cálculo de incertidumbres

PEMA03A: Transferencia de acelerómetro patrón de referencia a acelerómetro patrón de trabajo según Norma ISO 16063-21.

Frecuencia		>1 kHz		a		5 kHz					
Fuente de incertidumbre	Tipo B	Valor	Intervalo	$c_i^{(1)}$	Distribución ⁽²⁾	Factor	$n_i^{(3)}$	u_i	Contribución %	W-s	$(u_i \cdot C_i)^2$
Medición Voltaje en Patrón (precisión multímetro)		5,76E-01 mV	5,76E-01 mV	-2,70E-04 [-pC/mV(m/s ²)]	R	1,7	1,2	3,33E-01	0,9%	1,02E-03	8,04E-09
Medición Voltaje en Patrón (resolución multímetro)		5,00E-07 mV	5,00E-07 mV	-2,70E-04 [-pC/mV(m/s ²)]	R	1,7	10000	2,88E-07	0,0%	6,94E-31	6,06E-21
Medición Voltaje en UUT (precisión multímetro)		5,56E-01 mV	5,56E-01 mV	2,91E-04 pC/mV(m/s ²)	R	1,7	1,2	3,21E-01	1,0%	8,82E-04	8,72E-09
Medición Voltaje en UUT (resolución multímetro)		5,00E-07 mV	5,00E-07 mV	2,91E-04 pC/mV(m/s ²)	R	1,7	10000	2,88E-07	0,0%	6,94E-31	7,07E-21
Calibración amplificador de carga del Patrón		1,58E-01 mV/pC	1,58E-01 mV/pC	1,25E-03 [-pC/mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	7,88E-02	1,1%	3,86E-09	9,65E-09
Calibración amplificador de carga del UUT		1,56E-01 mV/pC	1,56E-01 mV/pC	-1,26E-03 [-pC/mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	7,79E-02	1,1%	3,68E-09	9,66E-09
Calibración acelerómetro patrón		1,99E-03 pC/(m/s ²)	1,99E-03 pC/(m/s ²)	9,37E-01	N	2,0	10000	9,93E-04	94,9%	9,71E-17	8,66E-07
Drift del patrón (a cinco años, 0,05%/año)		6,49E-05 pC/(m/s ²)	6,49E-05 pC/(m/s ²)	9,37E-01	N	2,0	10000	3,25E-05	0,1%	1,11E-22	9,25E-10
Influencia torque (base strain)		0,003	3,00E-06 pC/(m/s ²)	1,00E+00	R	1,7	10000	1,73E-06	0,0%	9,00E-28	3,00E-12
Influencia de la temperatura (patrón)			5,29E-05 pC/(m/s ²)	1,00E+00	N	2,0	10000	2,65E-05	0,1%	4,91E-23	7,01E-10
Influencia de la temperatura (UUT)			6,20E-05 pC/(m/s ²)	1,00E+00	N	2,0	10000	3,10E-05	0,1%	9,25E-23	9,62E-10
Movimiento Transversal			5,61E-01 mV	2,91E-04 pC/mV(m/s ²)	N	2,0	10000	2,80E-01	0,7%	6,18E-07	6,67E-09
Estimación de la incertidumbre tipo B, k=1		u_c			N (1σ)		4,36E-10				9,54E-04
Fuente de incertidumbre tipo A				$c_i^{(1)}$			$n_i^{(3)}$	u_i	Contribución %	W-s	$(u_i \cdot C_i)^2$
Repetibilidad Voltaje en Patrón		mV	mV	-2,70E-04 [-pC/mV(m/s ²)]			1,20E+01	7,83E-02	0,0%	3,13E-06	4,46E-10
Repetibilidad Voltaje en UUT		mV	mV	2,91E-04 pC/mV(m/s ²)			1,20E+01	6,56E-02	0,0%	1,54E-06	3,64E-10
Estimación de la incertidumbre tipo A, k=1									100,0%		2,85E-05
Contribución %											
Sumatoria c_i^2											
Incertidumbre combinada											
Incertidumbre expandida					Distribución ⁽²⁾	Factor					
			Tipo A, N(95%)		k	2,0					
Incertidumbre expandida, k=2			Tipo B, N(95%)		k	2,0					1,91E-03
Incertidumbre final		[pC/(m/s ²)]									1,91E-03
		[%]									1,54

(1) Coeficientes de sensibilidad

(2) N: normal; Rectangular

(3) Grados de libertad

PEMA03A Apéndice 2: Septiembre 2020

Planilla de Cálculo de incertidumbres

PEMA03A: Transferencia de acelerómetro patrón de referencia a acelerómetro patrón de trabajo según Norma ISO 16063-21.

Frecuencia		>5 kHz		a		10 kHz			
Fuente de incertidumbre Tipo B	Valor	Intervalo	$c_1^{(1)}$	Distribución ⁽²⁾	Factor	$\eta^{(3)}$	u_i	Contribución %	$W-S$
Medición Voltaje en Patrón (precisión multímetro)		5,73E-01 mV	-2,57E-04 [pC/mV(m/s ²)]	R	1,7	12	3,31E-01	0,8%	1,00E-03
Medición Voltaje en Patrón (resolución multímetro)		5,00E-07 mV	-2,57E-04 [-pC/mV(m/s ²)]	R	1,7	10000	2,89E-07	0,0%	6,94E-31
Medición Voltaje en UUT (precisión multímetro)		5,25E-01 mV	3,12E-04 pC/mV(m/s ²)	R	1,7	12	3,03E-01	1,0%	7,02E-04
Medición Voltaje en UUT (resolución multímetro)		5,00E-07 mV	3,12E-04 pC/mV(m/s ²)	R	1,7	10000	2,89E-07	0,0%	6,94E-31
Calibración amplificador de carga del Patrón		1,58E-01 mV/pC	1,18E-03 [-pC/mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	7,89E-02	1,0%	3,88E-09
Calibración amplificador de carga del UUT		1,56E-01 mV/pC	-1,19E-03 [-pC/mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	7,79E-02	1,0%	3,68E-09
Calibración acelerómetro patrón		2,11E-03 pC/(m/s ²)	8,33E-01	N	2,0	10000	1,05E-03	85,2%	1,23E-16
Drift del patrón (a cinco años, 0,05%/año)		6,49E-05 pC/(m/s ²)	8,33E-01	N	2,0	10000	3,25E-05	0,1%	1,11E-22
Influencia torque (base strain)	0,003	3,00E-06 pC/(m/s ²)	1,00E+00	R	1,7	10000	1,73E-06	0,0%	9,00E-28
Influencia de la temperatura (patrón)		5,62E-05 pC/(m/s ²)	1,00E+00	N	2,0	10000	2,81E-05	0,1%	6,23E-23
Influencia de la temperatura (UUT)		5,85E-05 pC/(m/s ²)	1,00E+00	N	2,0	10000	2,92E-05	0,1%	7,31E-23
Movimiento Transversal		1,99E+00 mV	3,12E-04 pC/mV(m/s ²)	N	2,0	10000	9,95E-01	10,7%	9,80E-05
Estimación de la incertidumbre tipo B, k=1	u_c			N (1σ)		4,77E-10			
Fuente de incertidumbre tipo A									
Repetibilidad Voltaje en Patrón		mV	-2,57E-04 [-pC/mV(m/s ²)]			1,20E+01	7,83E-02	0,0%	3,13E-06
Repetibilidad Voltaje en UUT		mV	3,12E-04 pC/mV(m/s ²)			1,20E+01	6,56E-02	0,0%	1,54E-06
Estimación de la incertidumbre tipo A, k=1									
Contribución %								100,0%	
Sumatoria c_i^2									2,87E-05
Incertidumbre combinada									9,02E-07
Incertidumbre expandida									9,50E-04
		Tipo A, N(95%)		Distribución ⁽²⁾	Factor				
		Tipo B, N(95%)		k	2,0				
				k	2,0				
Incertidumbre expandida, k=2									1,90E-03
Incertidumbre final									1,63
		[pC/(m/s ²)]							
		%							

(1) Coeficientes de sensibilidad

(2) N: normal; R: rectangular

(3) Grados de libertad